
CCUS ou le rôle clé du CO₂ dans la transition énergétique

Département de Chemical Engineering

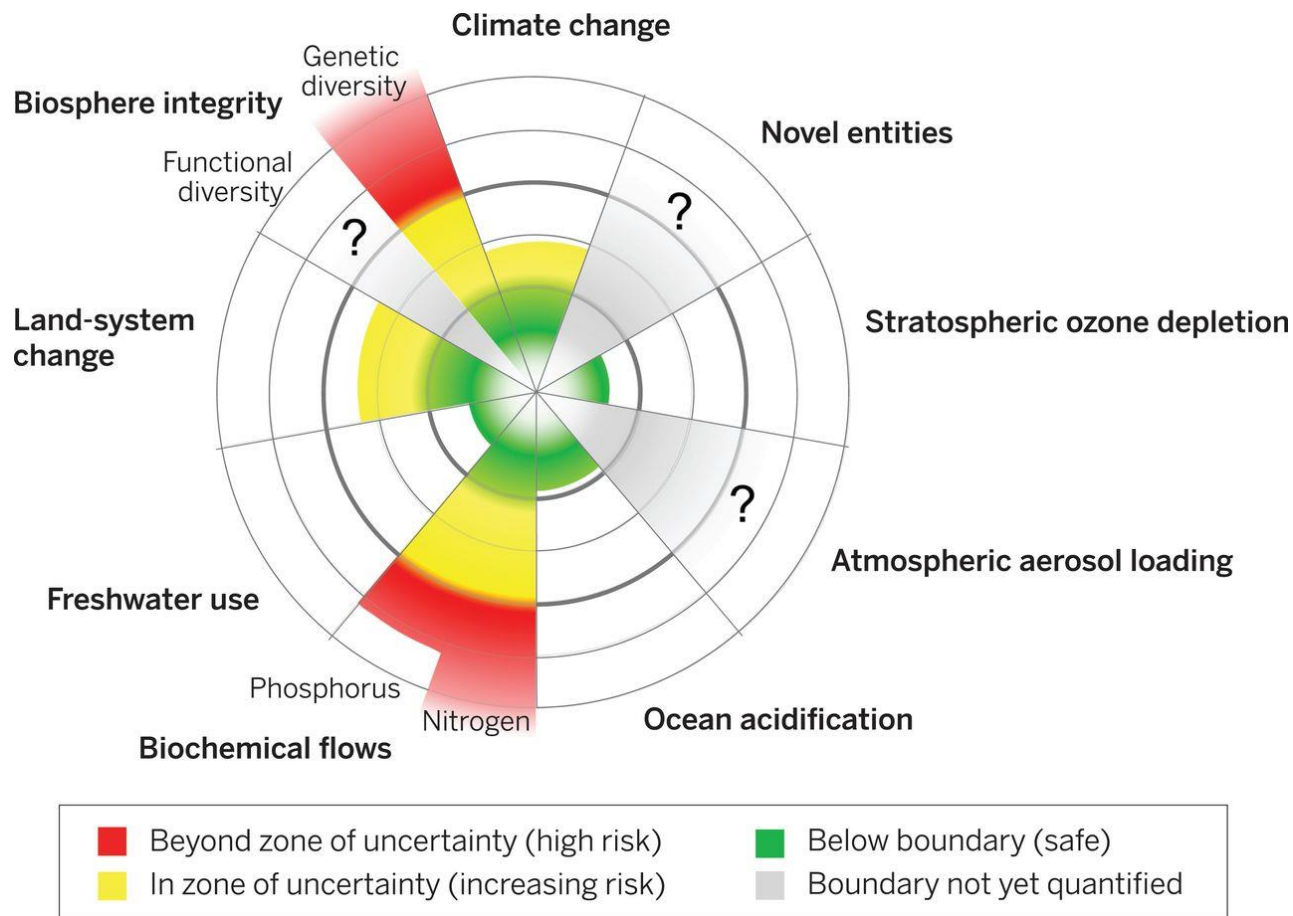
Grégoire LEONARD

Sommaire

1. Des chiffres et du contexte
2. Capture du CO₂ : le filet à papillons ?
3. Stockage
4. Réutilisation du CO₂
5. Conclusions et perspectives

Pourquoi une transition énergétique?

■ Comment conserver un écosystème sûr?

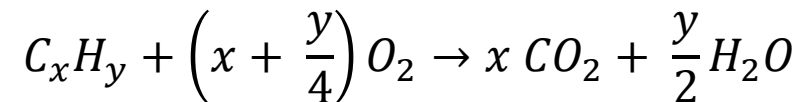
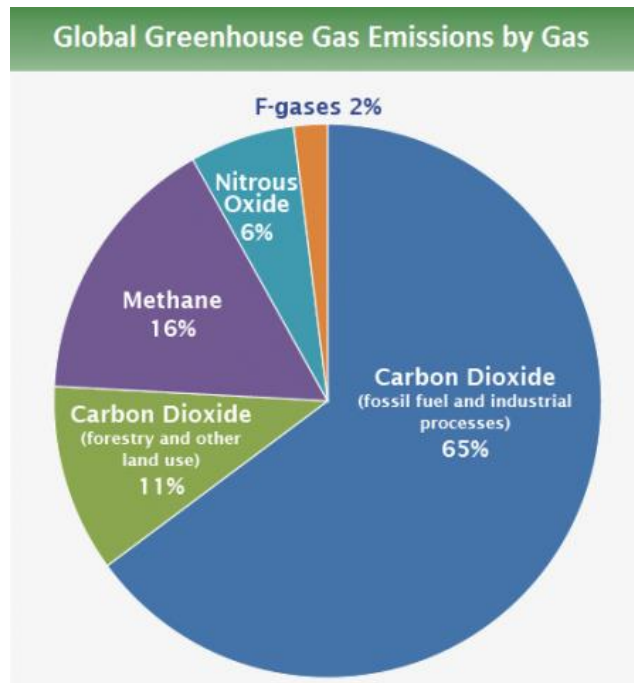


Gaz à effet de serre (GES)

- Un phénomène d'origine naturelle



- Outre l'eau, le CO₂ est le principal GES anthropique



Emissions en 2010:

~ 50 GT CO₂ équivalent

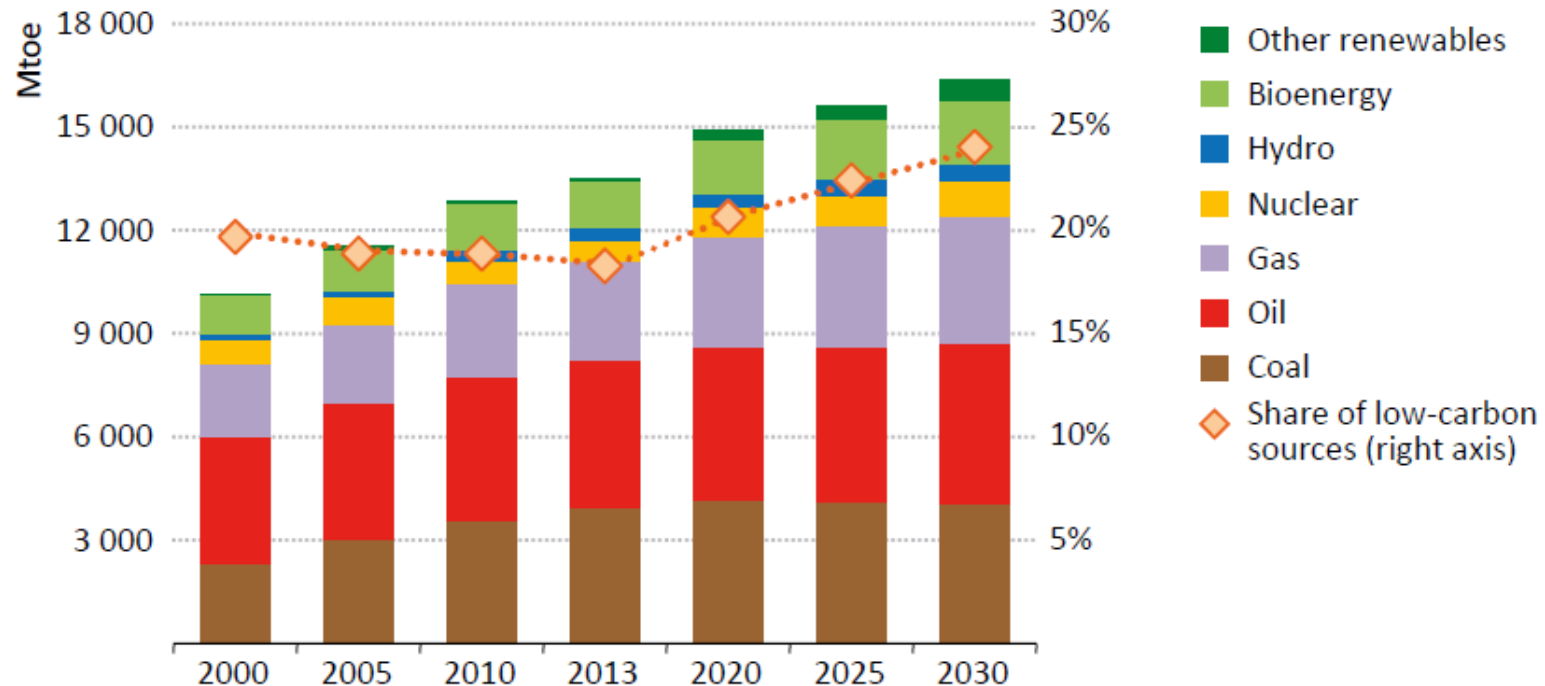
La transition énergétique a déjà commencé



Mais elle doit faire face à des défis importants !

Répondre à la demande énergétique croissante est déjà un grand défi en soi!

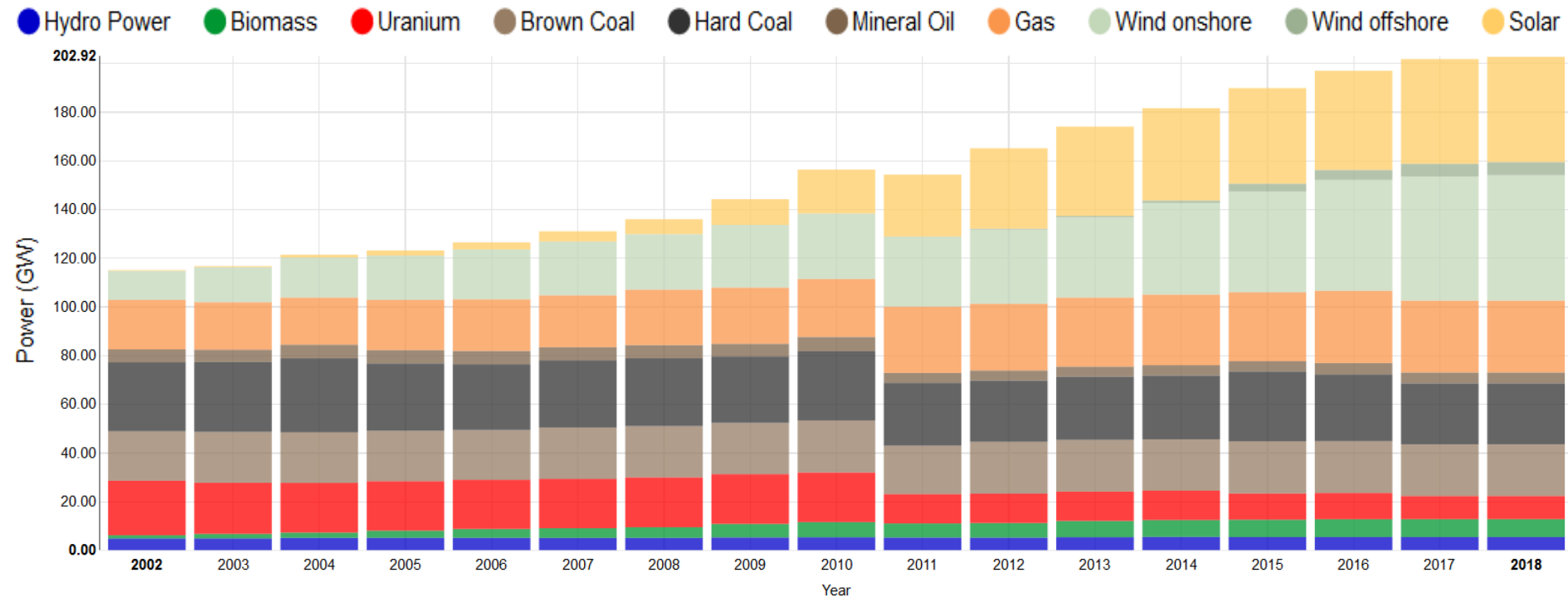
Global primary energy demand by type in the INDC Scenario



Note: "Other renewables" includes wind, solar (photovoltaic and concentrating solar power), geothermal, and marine.

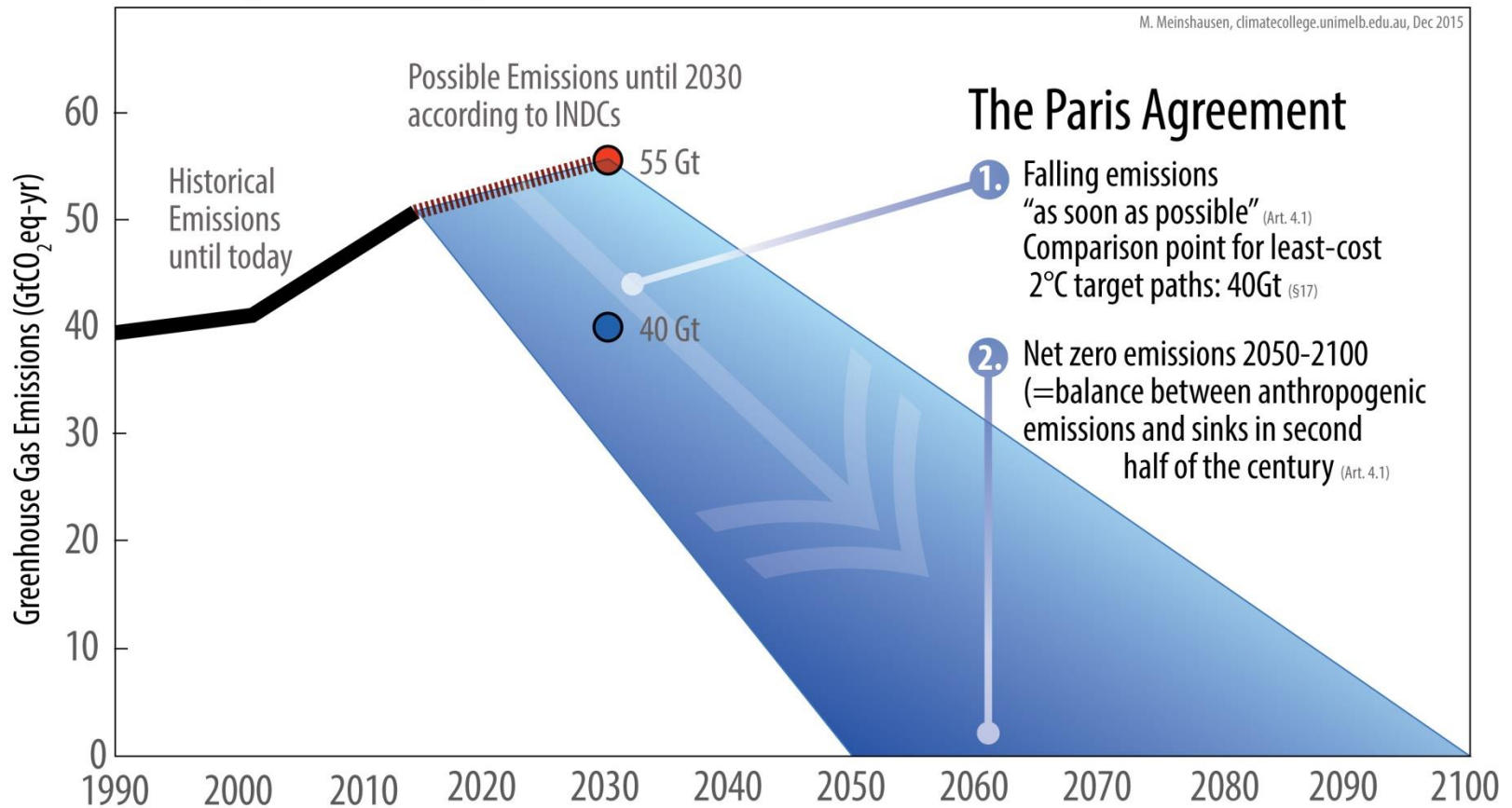
Assurer un approvisionnement stable est un défi pour les systèmes énergétiques

Net installed electricity generation capacity in Germany



“The COP 21 [...] notes that much greater emission reduction efforts will be required”...

Global greenhouse gas emissions



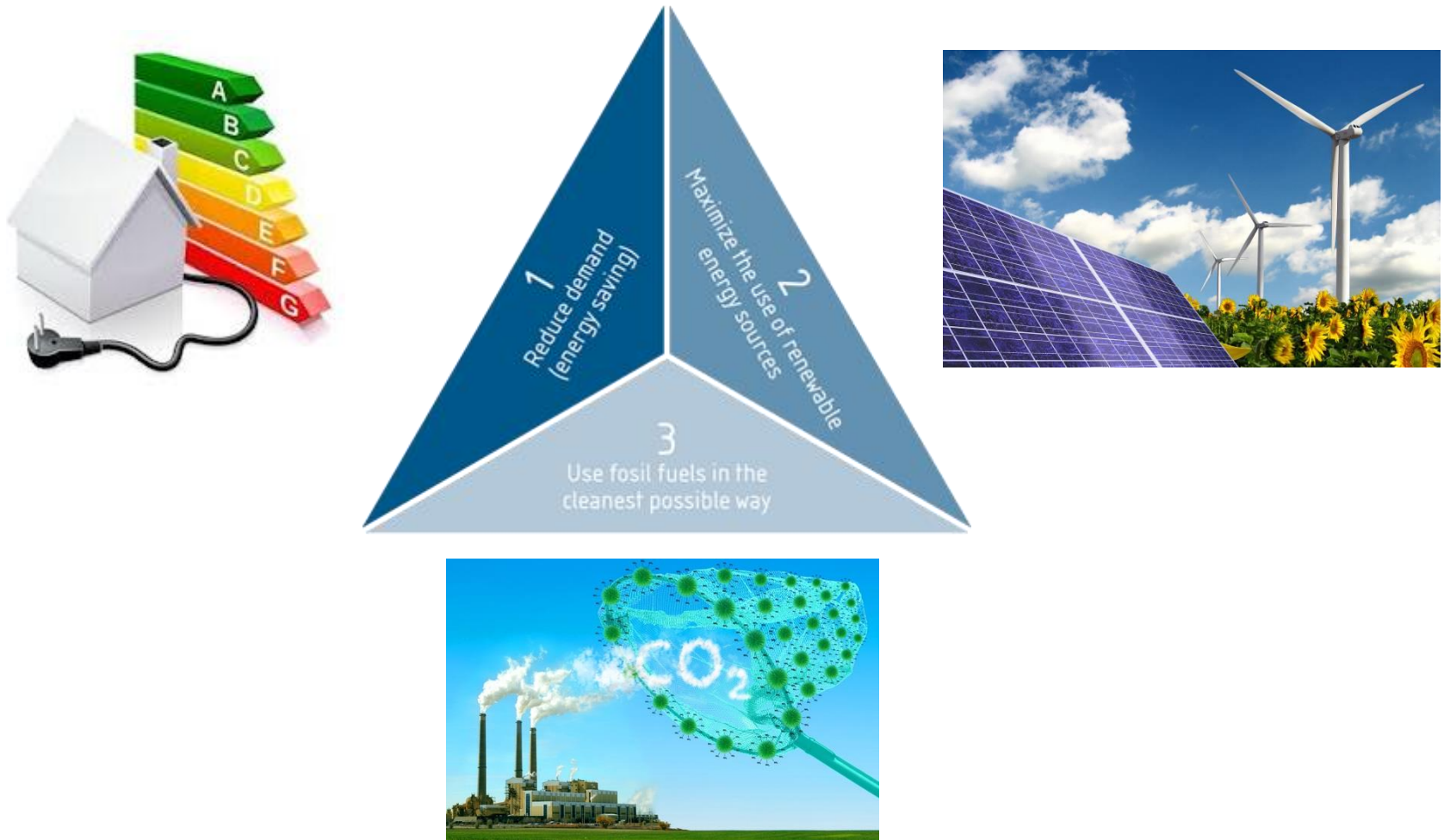
Les objectifs européens sont parmi les plus ambitieux!

GHG reductions compared to 1990	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44%	-79 to -82%
Sectors			
Power (CO ₂)	-7%	-54 to -68%	-93 to -99%
Industry (CO ₂)	-20%	-34 to -40%	-83 to -87%
Transport (incl. CO ₂ aviation, excl. maritime)	+30%	+20 to -9%	-54 to -67%
Residential and services (CO ₂)	-12%	-37 to -53%	-88 to -91%
Agriculture (non-CO ₂)	-20%	-36 to -37%	-42 to -49%
Other non-CO ₂ emissions	-30%	-72 to -73%	-70 to -78%

Réponses possibles: Exemple UE

- Développement d'un marché du carbone: ETS
- Monitoring des émissions hors ETS
- Objectifs d'augmentation de l'efficacité énergétique
- Objectifs contraignants pour les émissions de CO₂ des autos et camions
- Législation pour atteindre 20% d'énergies renouvelables en 2020
- Support aux technologies de capture du CO₂

Réponses possibles: TRIAS ENERGICA



2. Capture du CO₂ : Un filet à papillons?



Une des réponses possibles...

- CCUS : Carbon Capture, Use and Storage
- Principe : récupérer le CO_2 émis, le valoriser, et/ou le stocker de façon à ce qu'il ne contribue plus à l'effet de serre
- Pureté des sources varie entre 0.04% et 100%!
 - => Séparation de fluides
 - En général (cas énergie): mélange de CO_2 , H_2O , N_2 (surtout), O_2 , contaminants divers

Ce n'est pas une nouvelle technologie!

- Technologie exploitée depuis près de 50 ans



India, 2006, Urea production,
2x450 tpd CO₂



Natural gas sweetening with high CO₂ field:
1400 -2800 tpd CO₂

- ~ 250 Mtpa en 2016 (15% CCS, 50% Urée, 35% Autres)

Des avantages et désavantages!

Pour:

- Rapidement implémentable à grande échelle, pour différentes industries
- Dynamique rapide et contrôlable
- Rétrofit possible sur unités existantes

Contre:

- Investissement important
- Coûts opératoires importants (-10-40% rendement)
- Emissions secondaires

Différentes configurations existent

1. Procédés industriels (cimenteries, aciéries...)

=> CO₂ produit **hors combustion**

2. Brûler le combustible avec de l'oxygène pur

=> **Combustion Oxyfuel**

3. Capter le CO₂ des fumées de combustion

=> **Capture post-combustion**

4. Enlever le C du combustible par gazéification

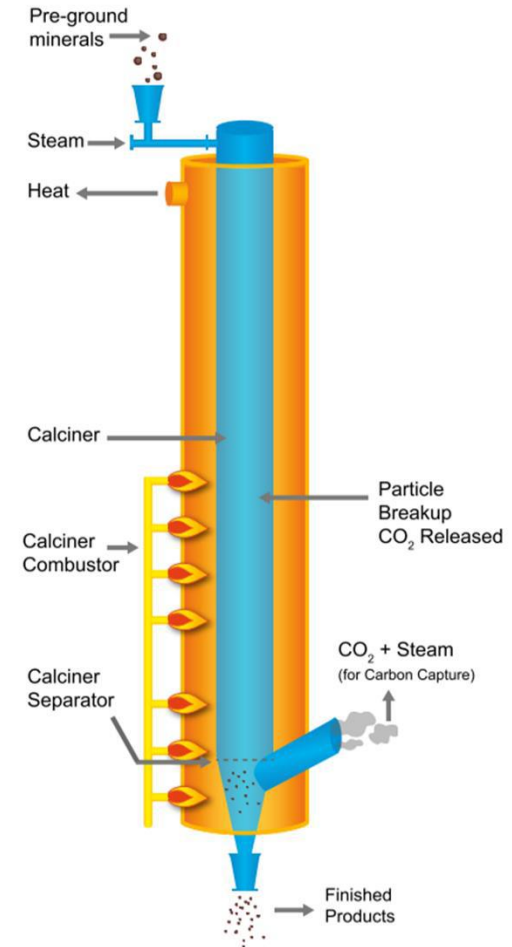
=> **Capture pré-combustion**

Procédés industriels: quelques exemples

1. CO₂ ne résultant pas de la combustion

■ Cimenterie

- $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- Potentiel : -60% CO₂
- Haute température $\rightarrow 1000^\circ\text{C}$
- Pilote à Lixhe (Visé)
- Fin de la construction: 2019
- Investissement: 21 M€

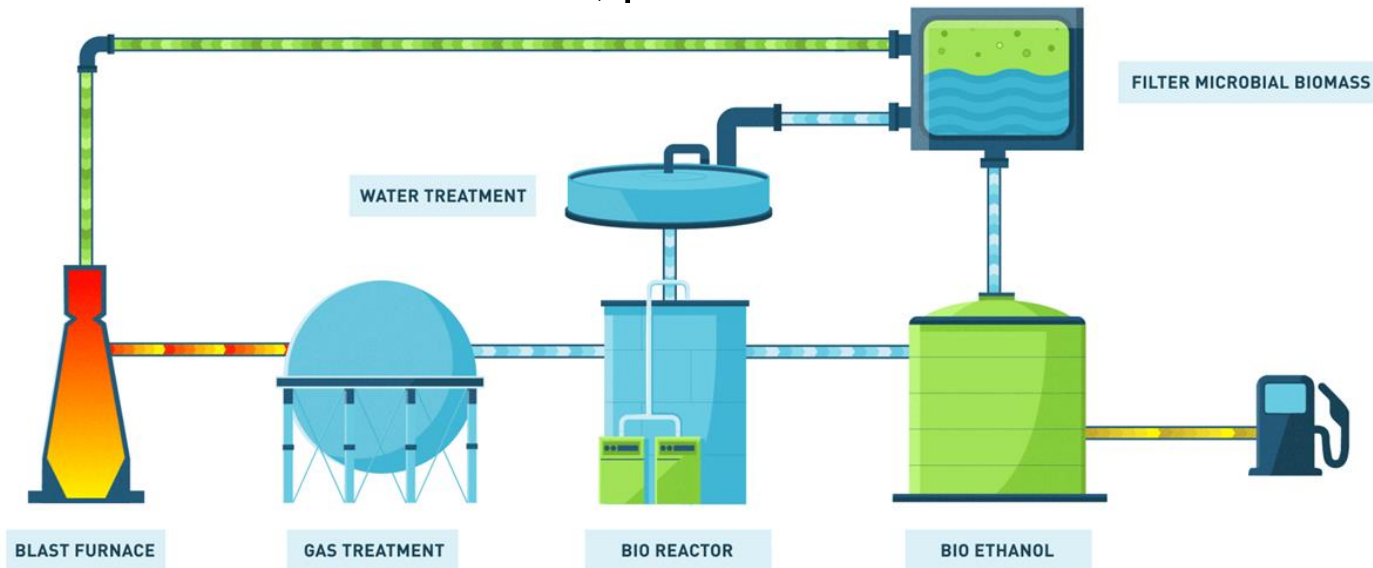


Procédés industriels: quelques exemples

1. CO₂ ne résultant pas de la combustion

❑ Sidérurgie

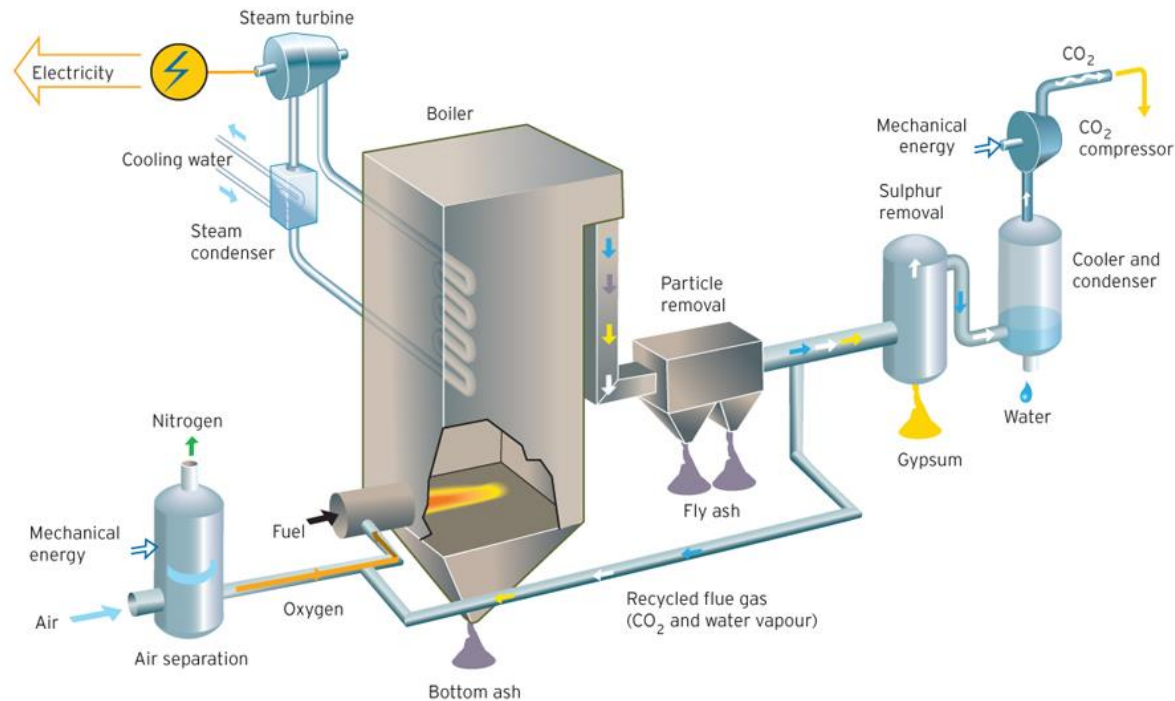
- $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$
- Fermentation d'effluent gazeux (CO, CO₂, H₂) en éthanol
- Potentiel: -70% CO₂ (sur le biocarburant)
- Investissement: 87 M€, pour 70 M L/an



Combustion oxyfuel

2. Combustion avec de l'oxygène pur

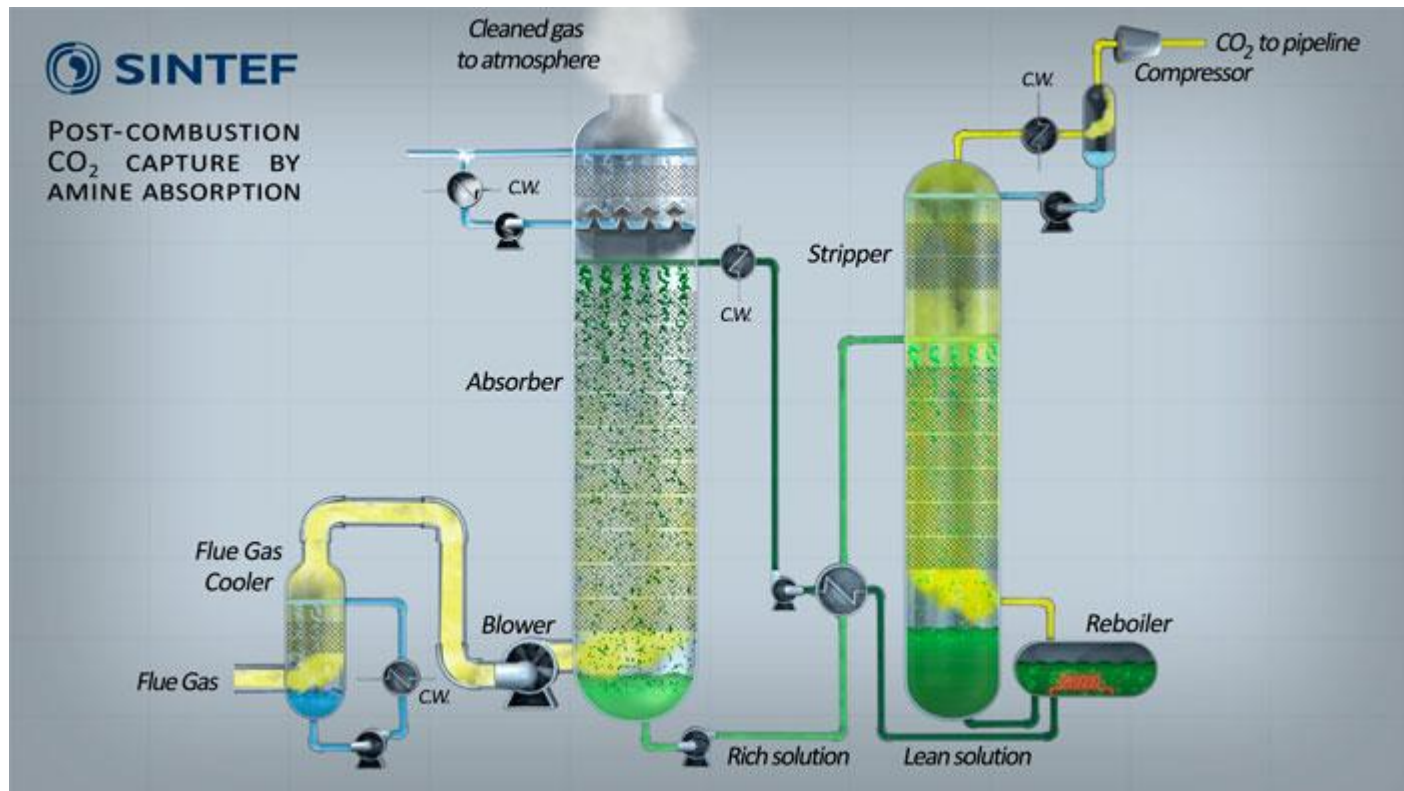
- ❑ Séparation de l'air en O_2 et N_2
- ❑ Pas encore de projet à échelle commerciale



Capture post-combustion

3. Capture du CO₂ dans les gaz de combustion

- Procédé d'absorption-régénération



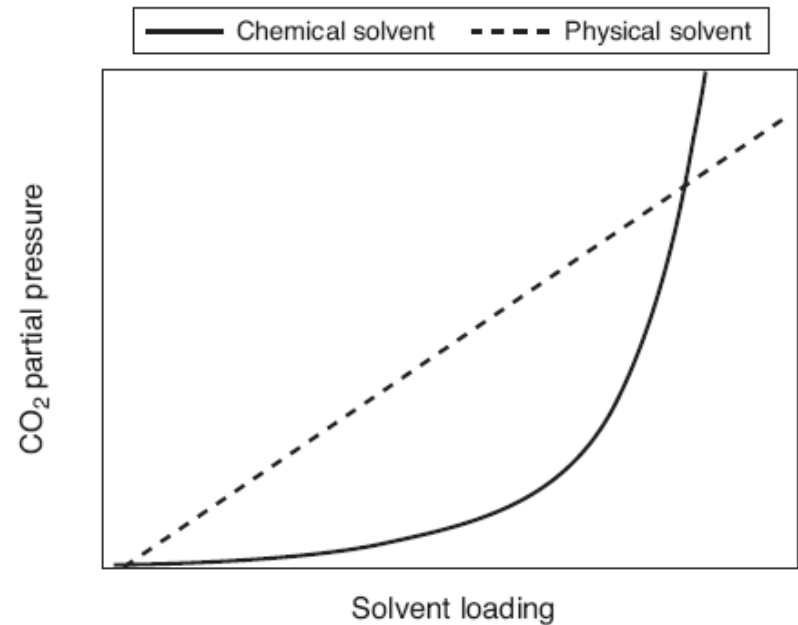
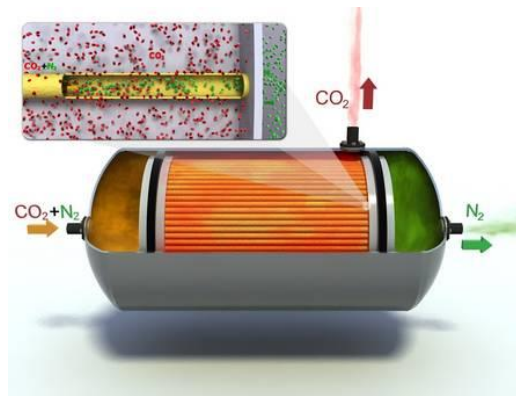
Capture post-combustion

■ Techniques commerciales:

- Solvants physiques
- Solvants chimiques

■ En développement:

- Adsorbants solides
- Membranes
- ...



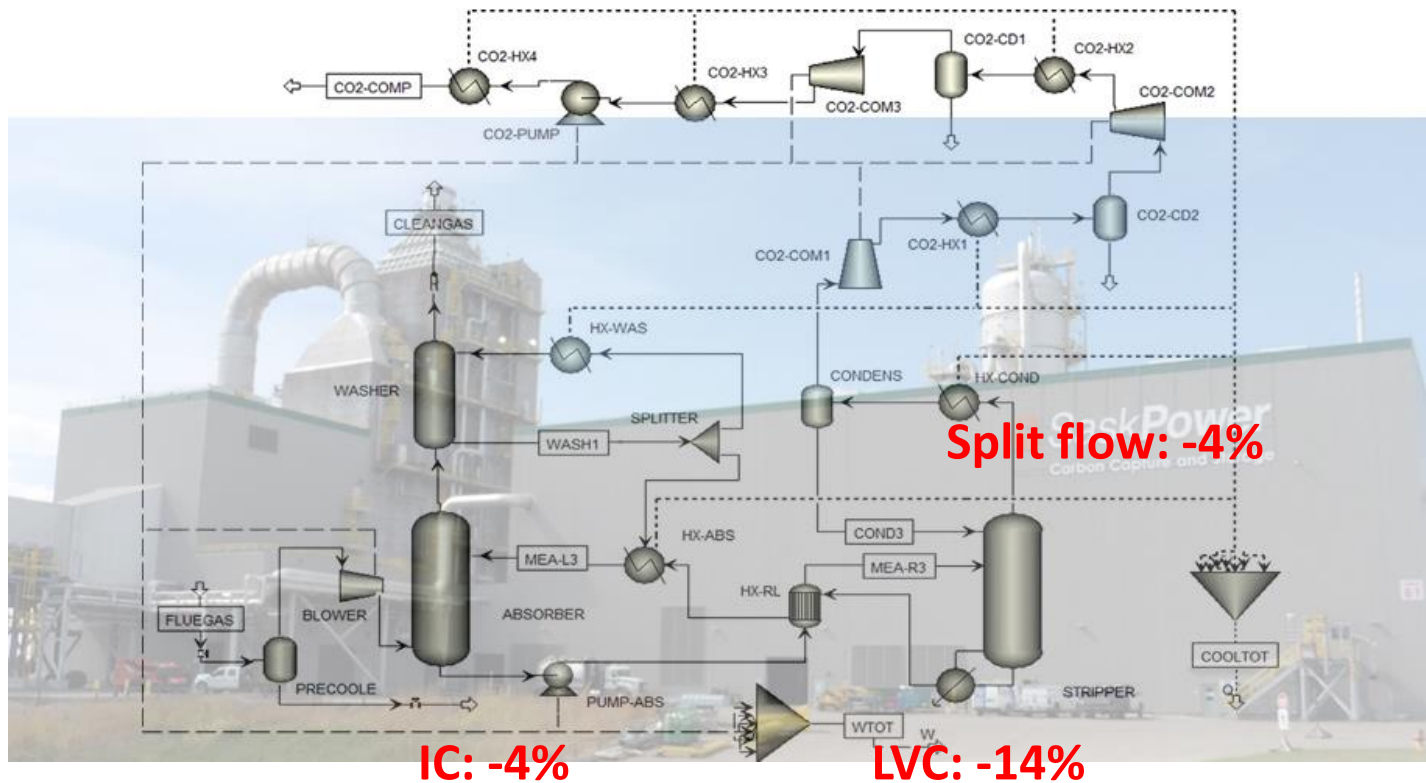
Capture post-combustion

- Echelle commerciale atteinte récemment
 - Saskatchewan, Canada (2014)
 - Centrale charbon 160 MWe
 - $2700 \text{ tCO}_2/\text{j} \Rightarrow 180 \text{ Nm}^3 \text{ gaz traité/s}$; Solvant: 550 L/s
 - Petra Nova, Texas (2017)
 - Centrale charbon 240 MWe, $4400 \text{ tCO}_2/\text{j}$, 1 milliard US\$



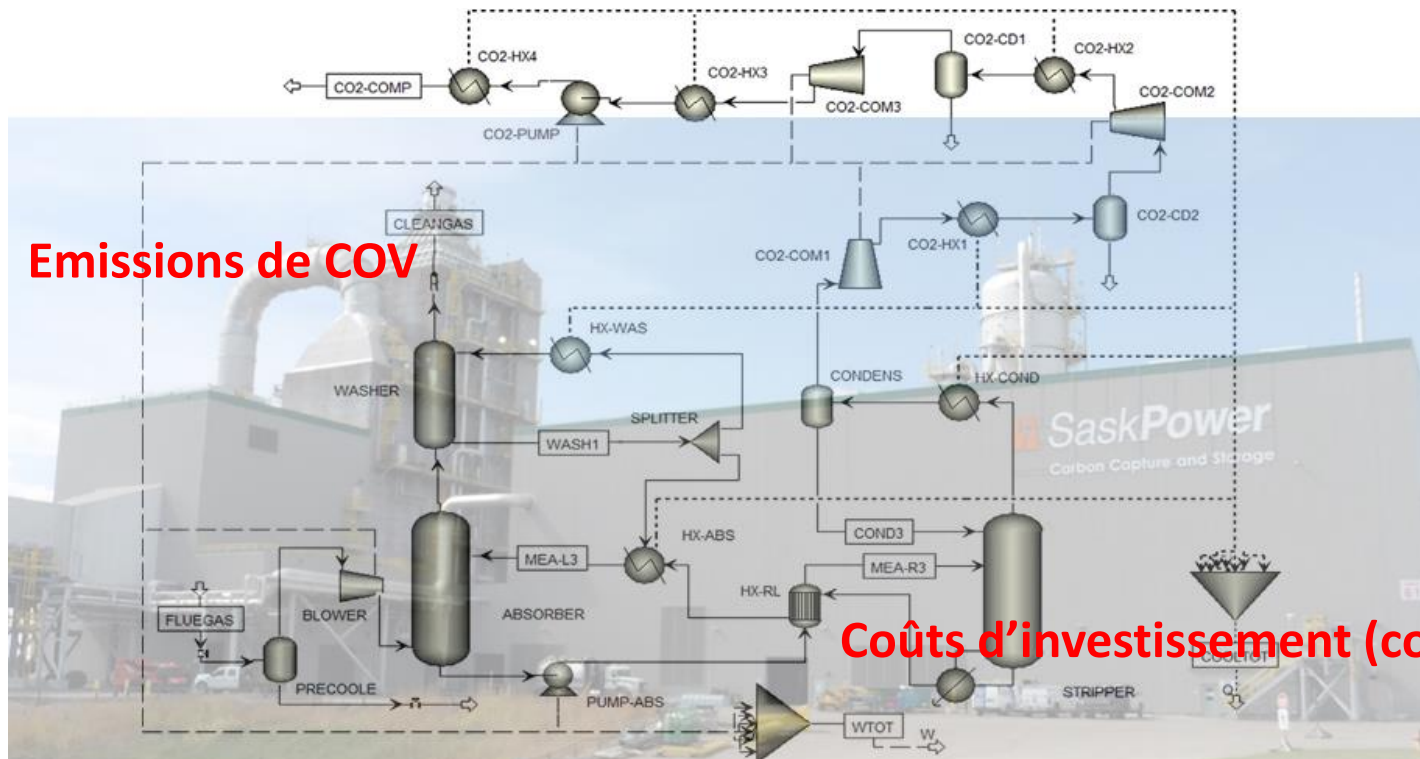
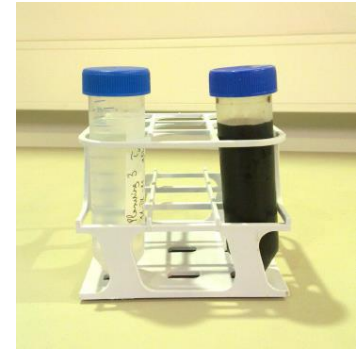
Capture post-combustion

- Aparté: recherches à l'ULiège
 - Modélisation et optimisation énergétique des systèmes



Capture post-combustion

- Aparté: recherches à l'ULiège
 - Stabilité des solvants chimiques

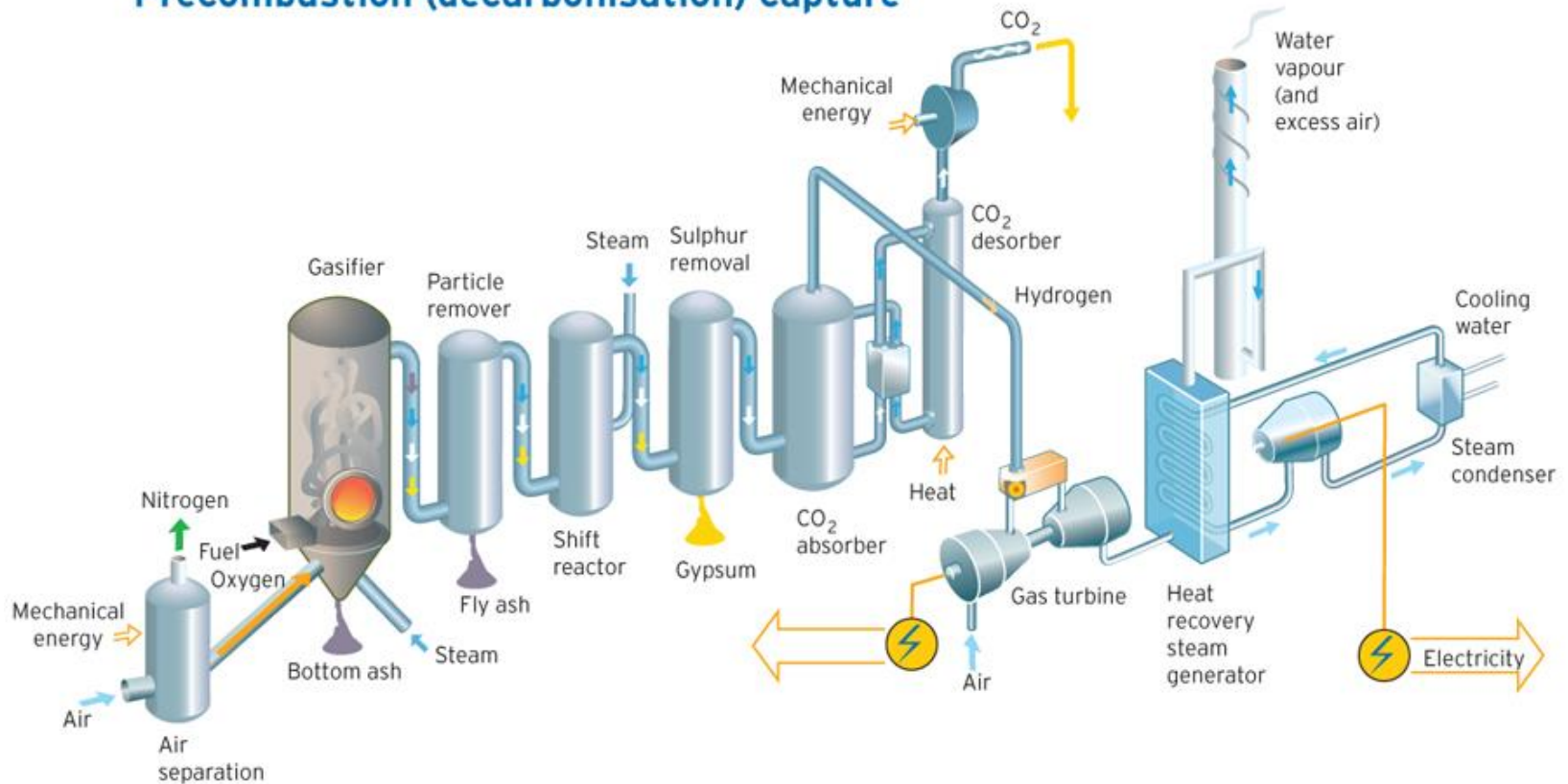


Coûts opératoires: viscosité, propriétés modifiées...

Capture pré-combustion

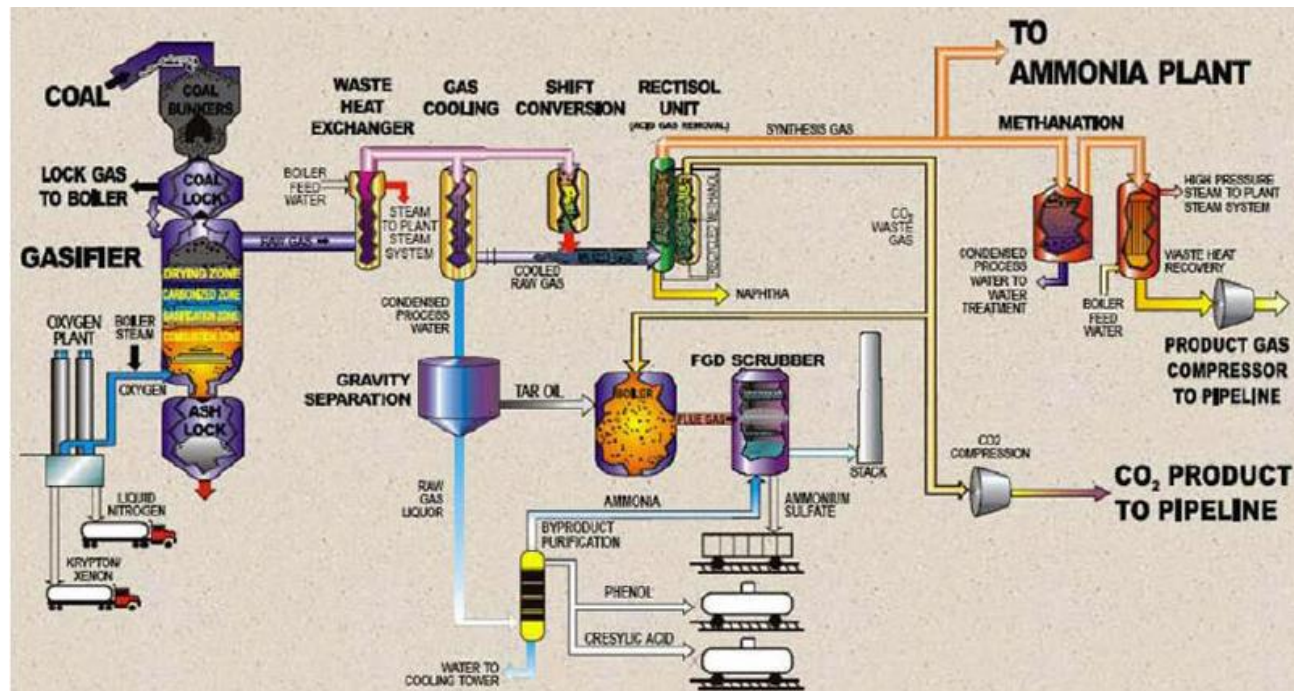
4. Enlever le C du combustible (solide) par gazéification

Precombustion (decarbonisation) capture



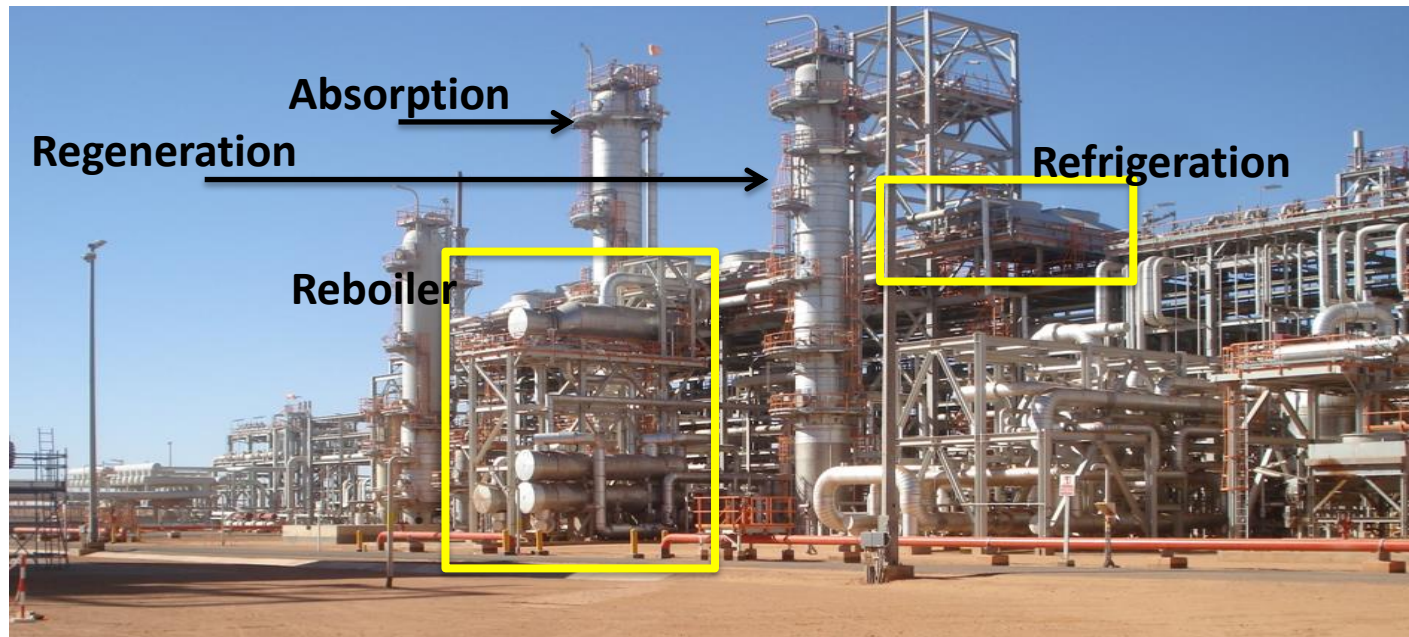
Capture pré-combustion

- Great Plains Synfuel Plant, North Dakota (US)
 - Gazéification de 16 000 t/j de lignite
 - 8 200 tCO₂/j, 3 Mtpa CO₂ depuis 2000



Capture pré-combustion

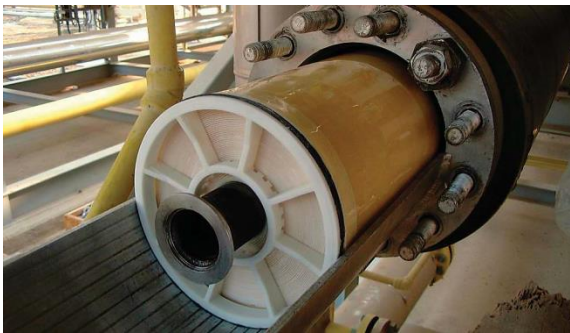
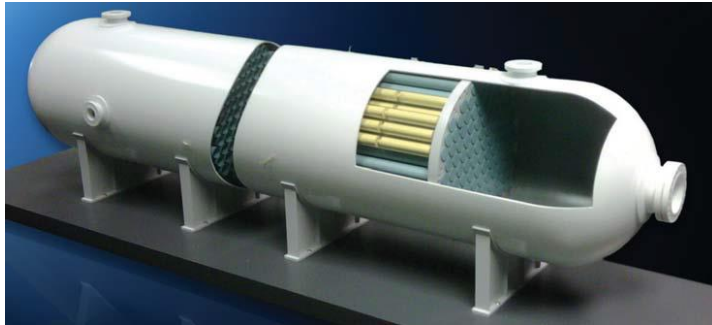
- Cas particulier: adoucissement du gaz naturel
 - Procédé conventionnel: absorption dans solvants liquides



- => Optimisation multi-objectifs et intégration énergétique du procédé d'adoucissement de gaz naturel

Capture pré-combustion

- Cas particulier: adoucissement du gaz naturel
 - Alternative: utilisation de membranes (toujours en développement)
 - Contraintes d'espace



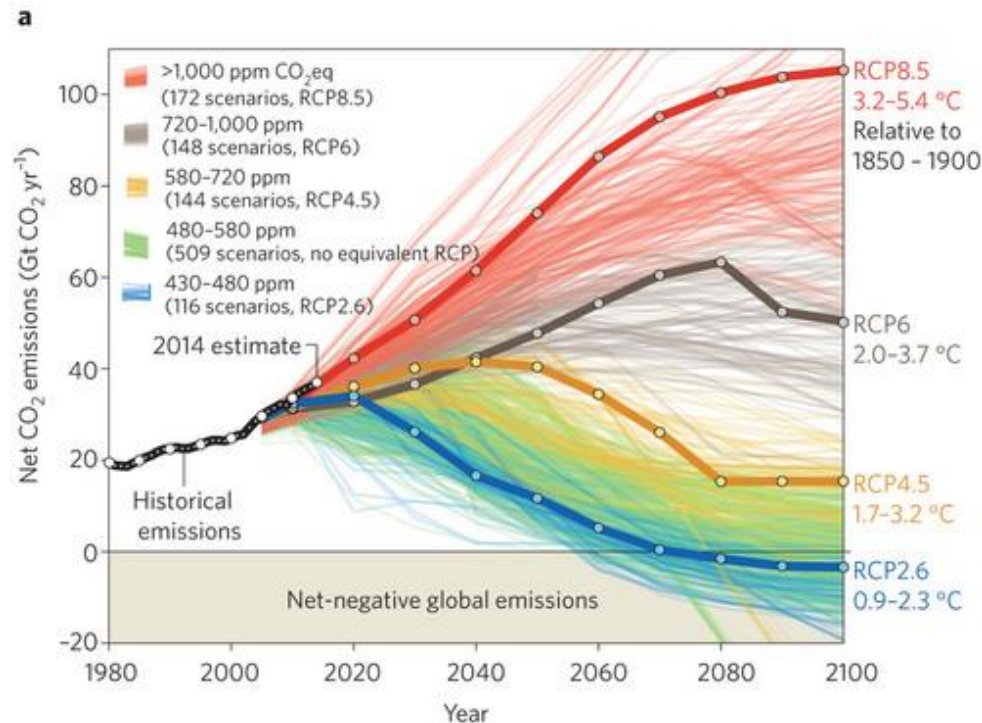
Capture pré-combustion

- Le développement technologique n'est pas un long fleuve tranquille!
 - Eg. Kemper County (Mississippi): 582 MWe, 9500 tCO₂/j
 - Coût : de 2.9 à 7.5 milliards US\$ et maintenant à l'arrêt...



Tendances et challenges

■ Emissions négatives de CO₂



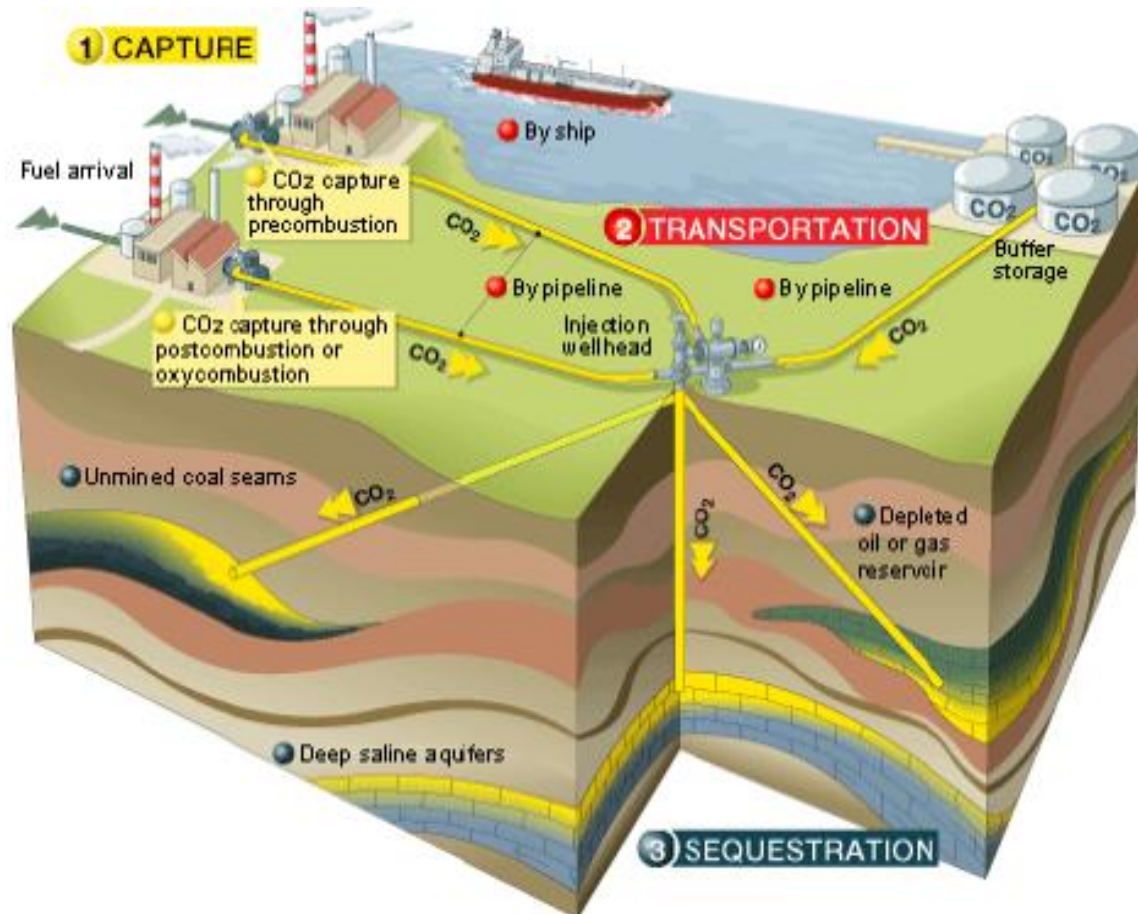
- Utilisation de biomasse et capture du CO₂
- Capture de CO₂ dans l'air



3. Stockage du CO₂

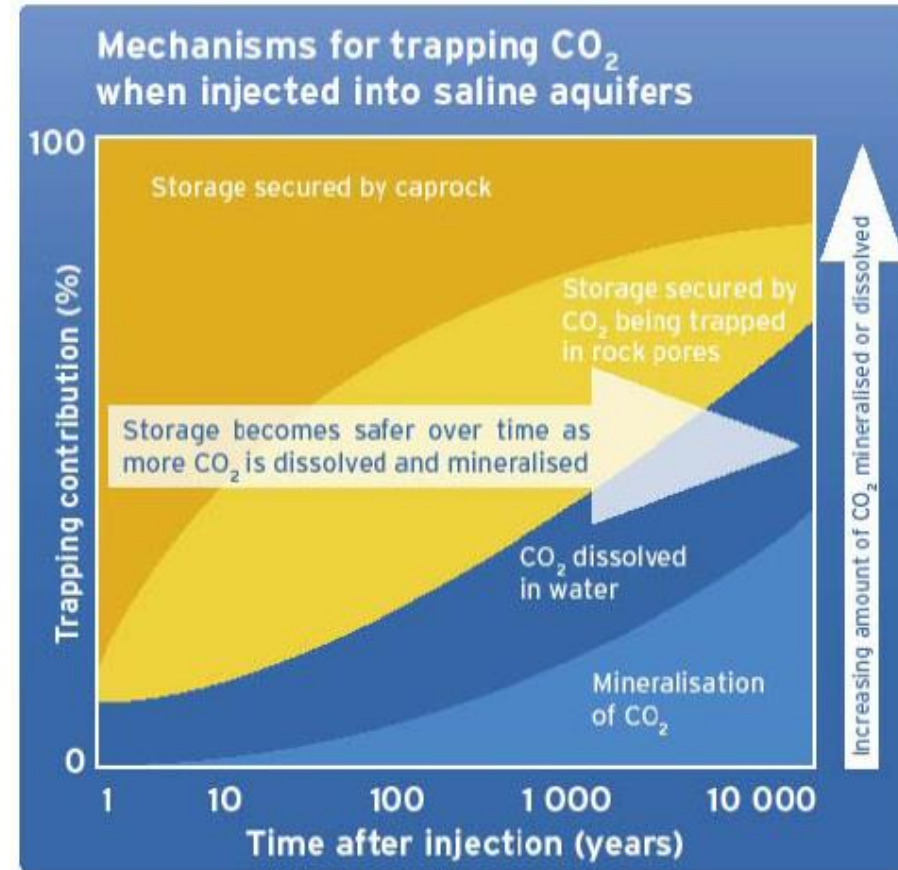
Une chaîne logistique complète...

Capture – Transport – Ré-utilisation – Stockage



Que se passe-t-il une fois le CO₂ stocké?

- Le CO₂ diffuse dans la formation géologique et est piégé sous terre
- Il pénètre dans les porosités de la roche, se dissout et minéralise
- Longue échelle de temps!



Quelques exemples

■ In-Salah, Algérie

- ❑ 3.8 Mt CO₂ injecté de 2004 à 2011
- ❑ Ancien réservoir de gaz (1900 m de profondeur)
- ❑ Injection suspendue, l'intégrité du site est étudiée en profondeur
- ❑ Monitoring permanent

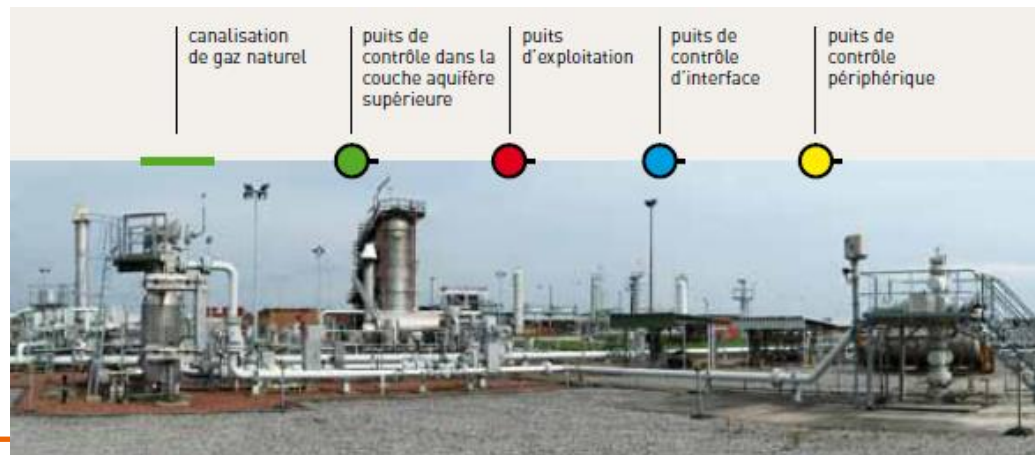
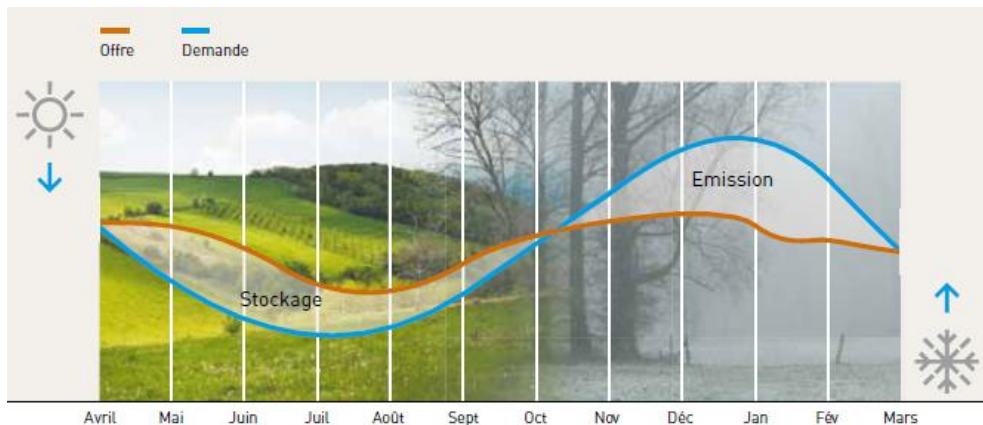
■ Sleipner, Norvège

- ❑ 1 Mtpa depuis 1996
- ❑ Aquifère salin (800-1000 m de profondeur)
- ❑ Au large de la Norvège
- ❑ > 17 Mt injectées

Le stockage sous-terrain de gaz n'est pas neuf!

C'est une technologie éprouvée: stockage saisonnier de gaz naturel

Exemple: Loenhout (Anvers)

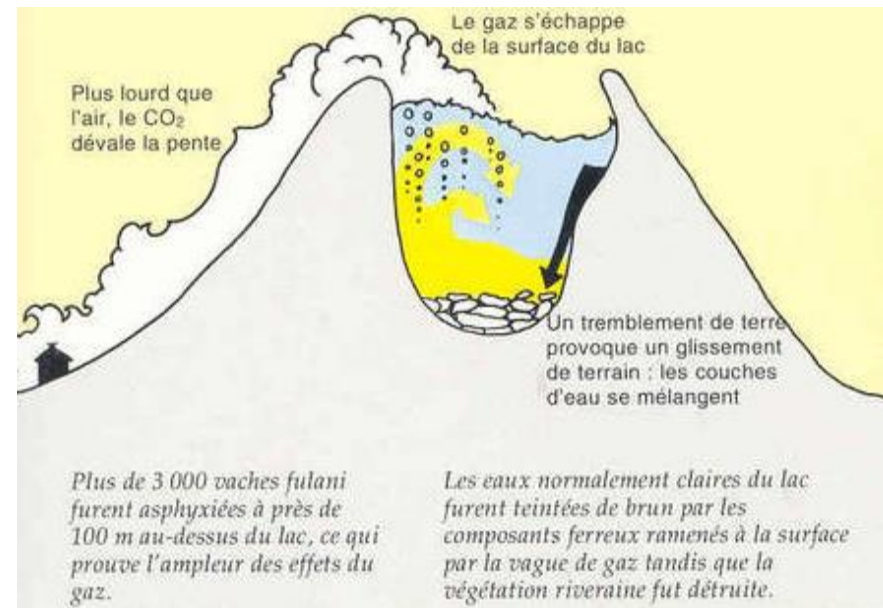
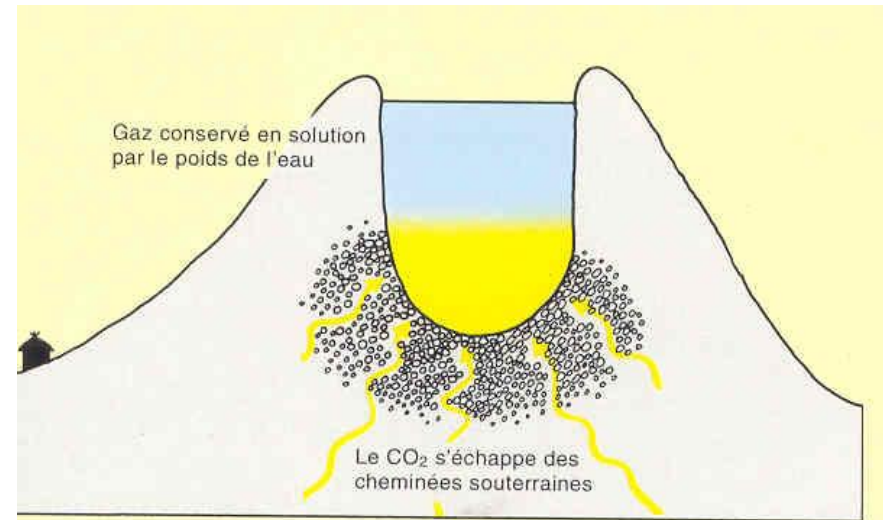


Gestion du risque

Cas du lac Nyos (Cameroun, 1986):

- CO₂ d'origine volcanique
- Près de 1700 victimes

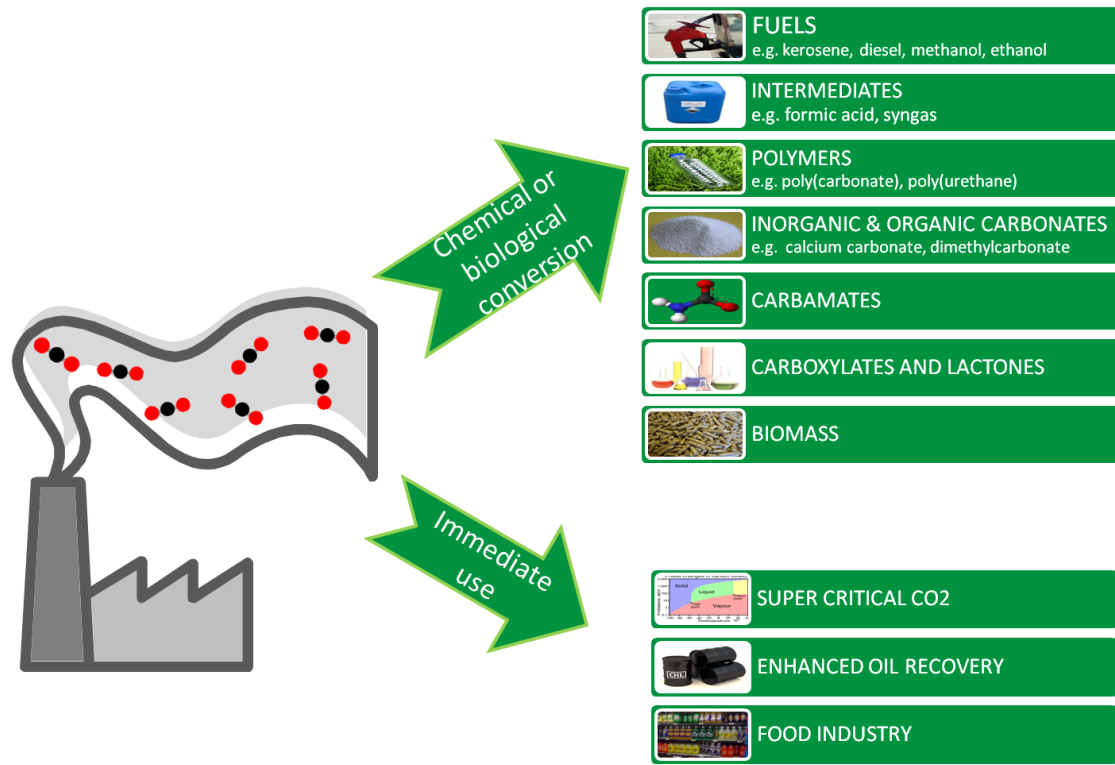
=> Solution identifiée et implémentée!



4. Réutilisation du CO₂

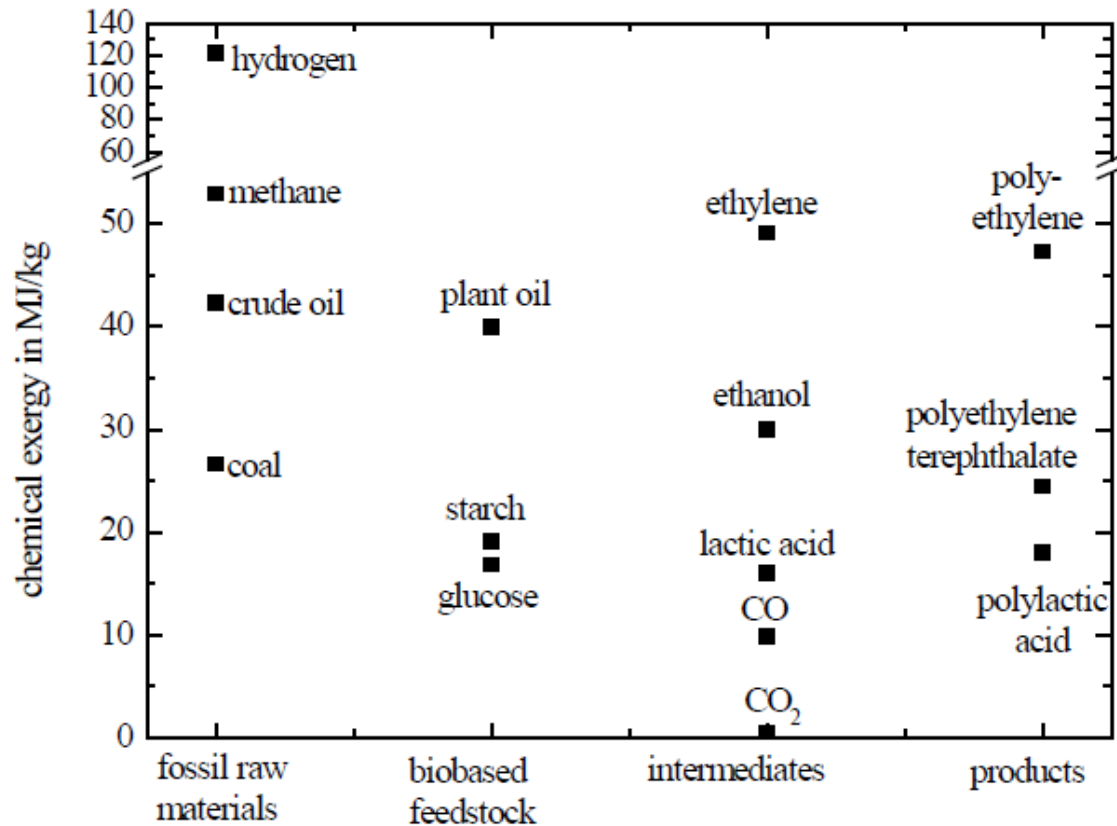
CO₂: déchet ou matière première?

- Le carbone est à la base de la chimie organique
 - => Immense potentiel d'applications : 4 Gtpa CO₂
 - 2016: ~ 250 Mt CO₂ réutilisé par an (dont 120 Mt CO₂ sur site)

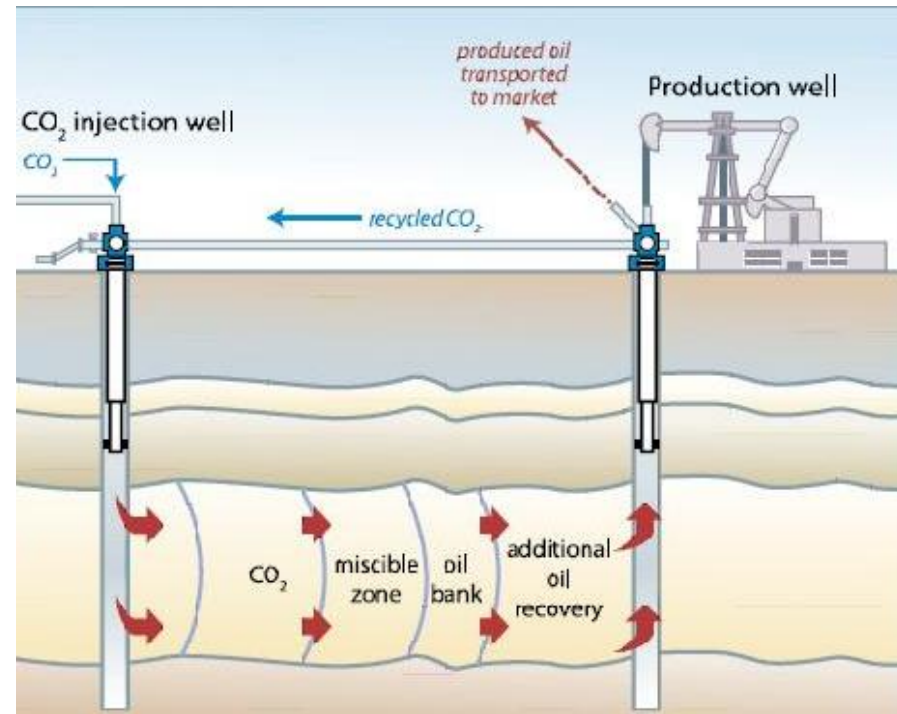


Un élément essentiel: l'énergie!

- A part les carbonates, toute utilisation nécessite de l'énergie!



Utilisation industrielle directe du CO₂



Valorisation biologique

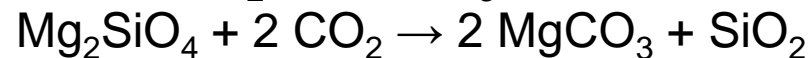
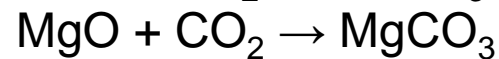
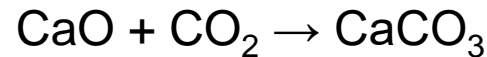
- Photosynthèse
 - Microalgues
 - Culture sous serre



- Limitations :
 - Surface pour les cultures (+- 120 t CO₂/ha)
 - Energie nécessaire pour traitements en aval

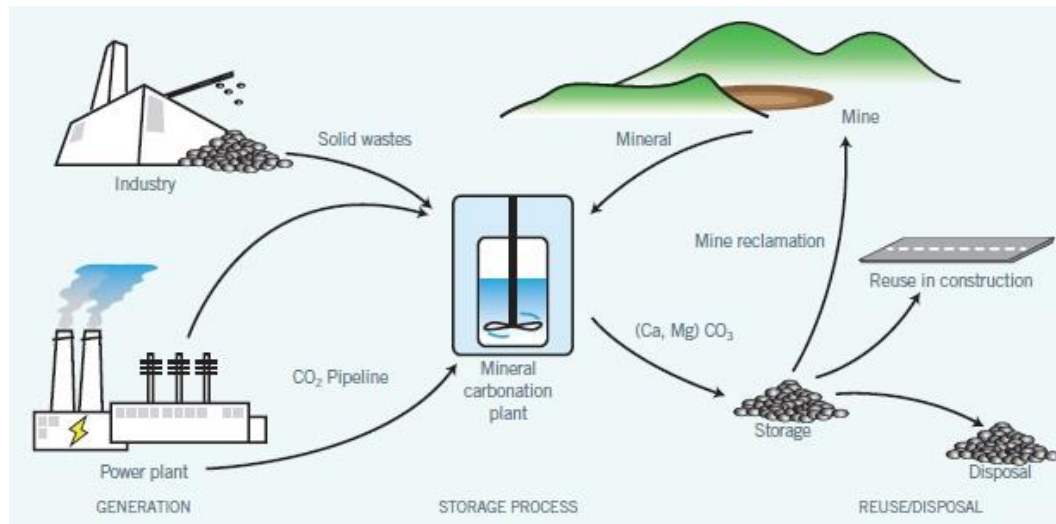
Valorisation chimique: minéralisation

- Réaction avec des oxydes présents dans minerais ou déchets industriels



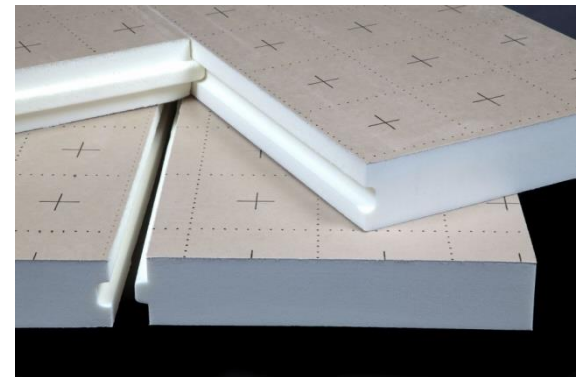
- Réaction spontanée mais lente

Source: Hemcrete, 2015



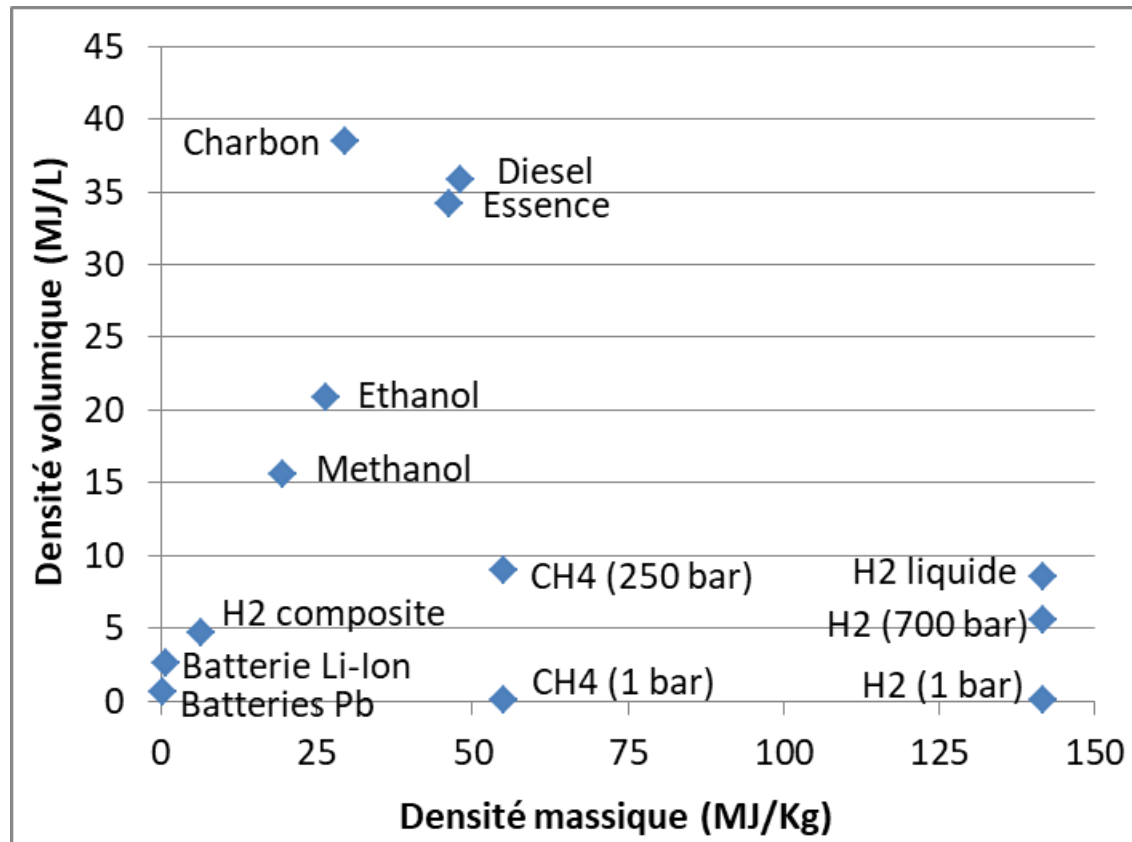
Valorisation chimique: Synthèse organique

- Pétrochimie utilise environ 6% des ressources fossiles
- Haute valeur ajoutée possible
- Énergie nécessaire aux synthèses constitue un frein



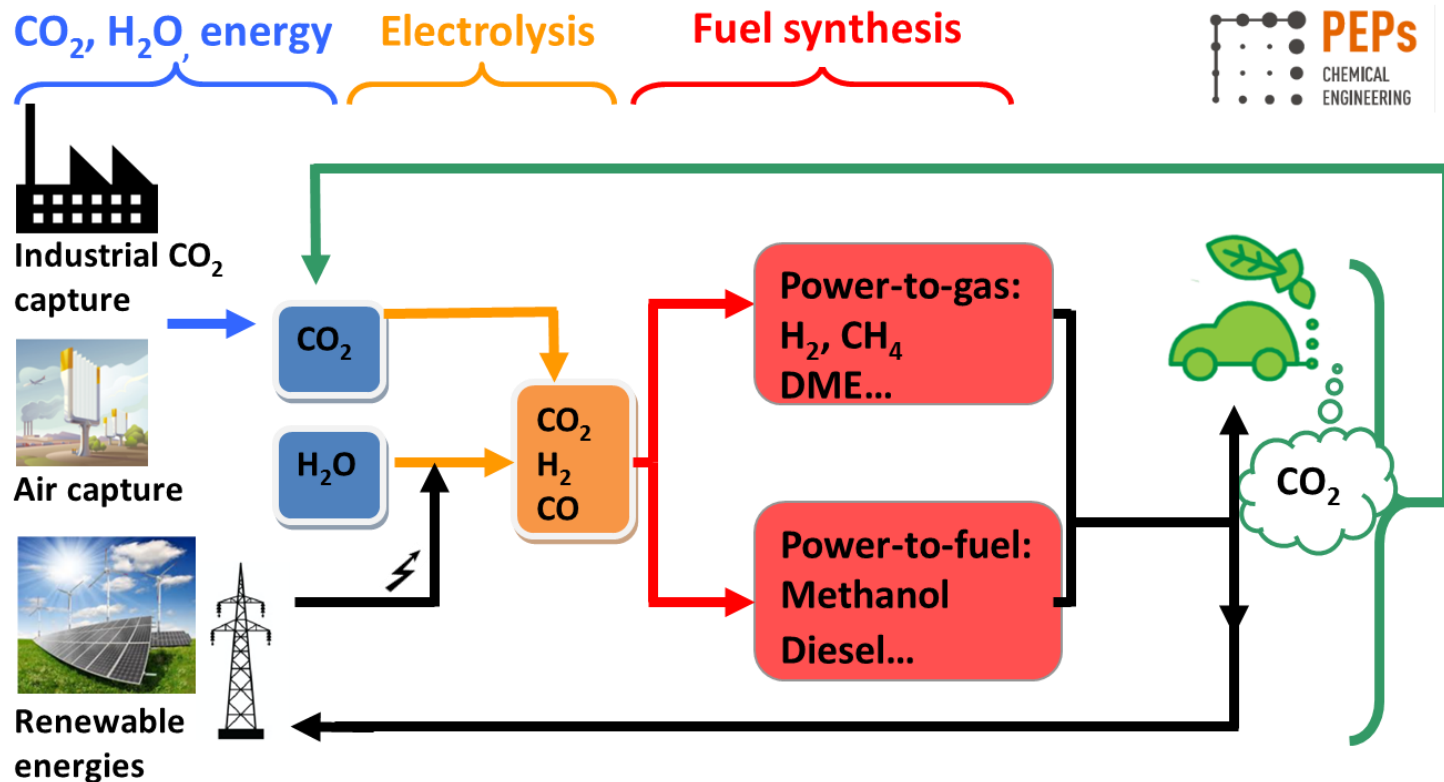
Valorisation chimique pour énergie

- L'avantage: une densité énergétique fantastique!
 - => Stockage intersaisonnier possible



Valorisation chimique pour énergie

■ Power-to-X



⇒ Un système énergétique durable ET carboné est possible !

5. Conclusions et perspectives

5. Conclusions et perspectives

Grand potentiel, mais beaucoup de défis pour le CO₂!

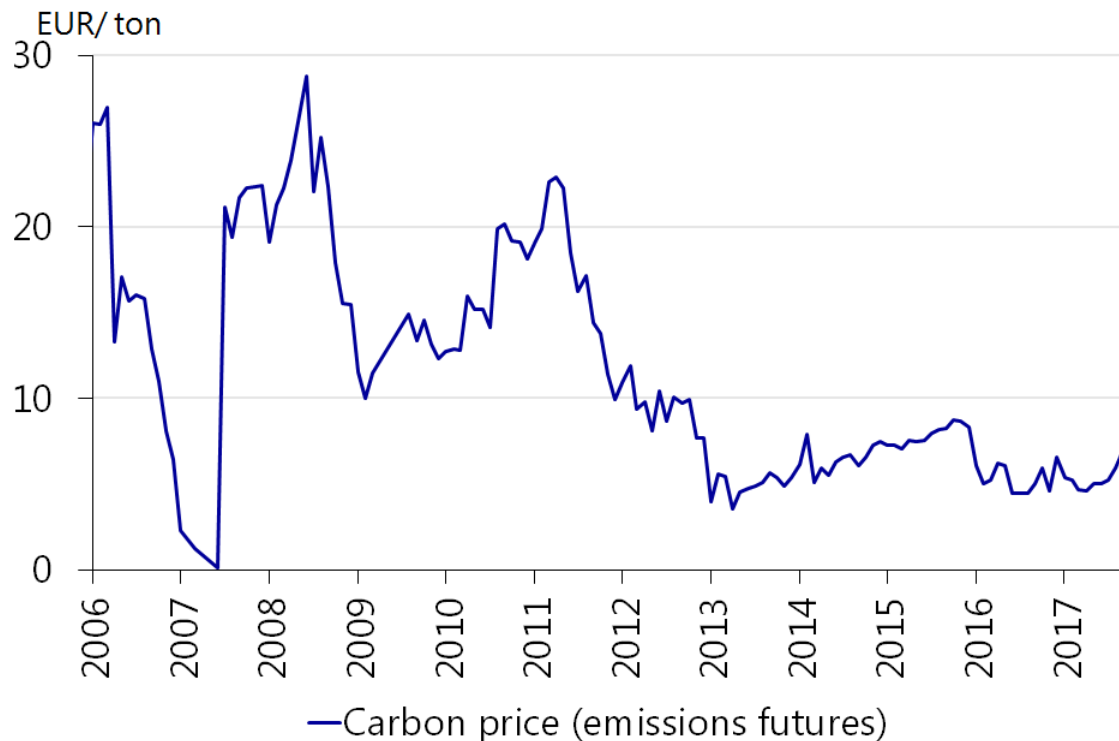
- Débits de CO₂ gigantesques
 - ~ 5 MtCO₂ le temps de cette présentation!
- Acceptation et encouragement de nouvelles technologies
- Demande mondiale en augmentation! Stabilité et fiabilité des sources d'approvisionnement! Coût!

=> *Besoin d'énergie propre, fiable et bon marché!*

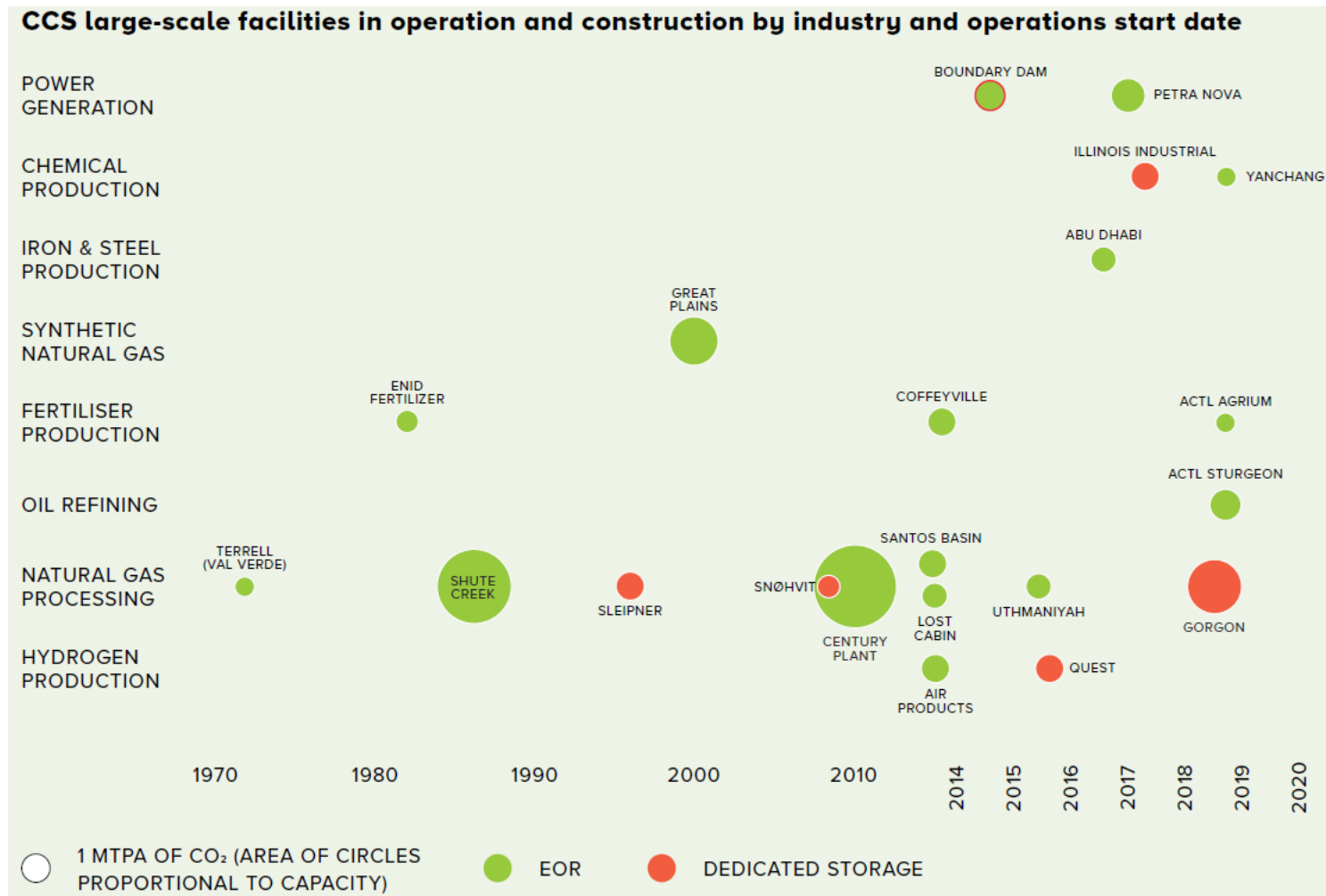
=> *Transition énergétique*

Bilan des politiques européennes

- Marché ETS à améliorer
 - ETS (European CO₂ market) ~ 6-7 €/t
 - Coût de la capture du CO₂ ~ 30-40 €/t



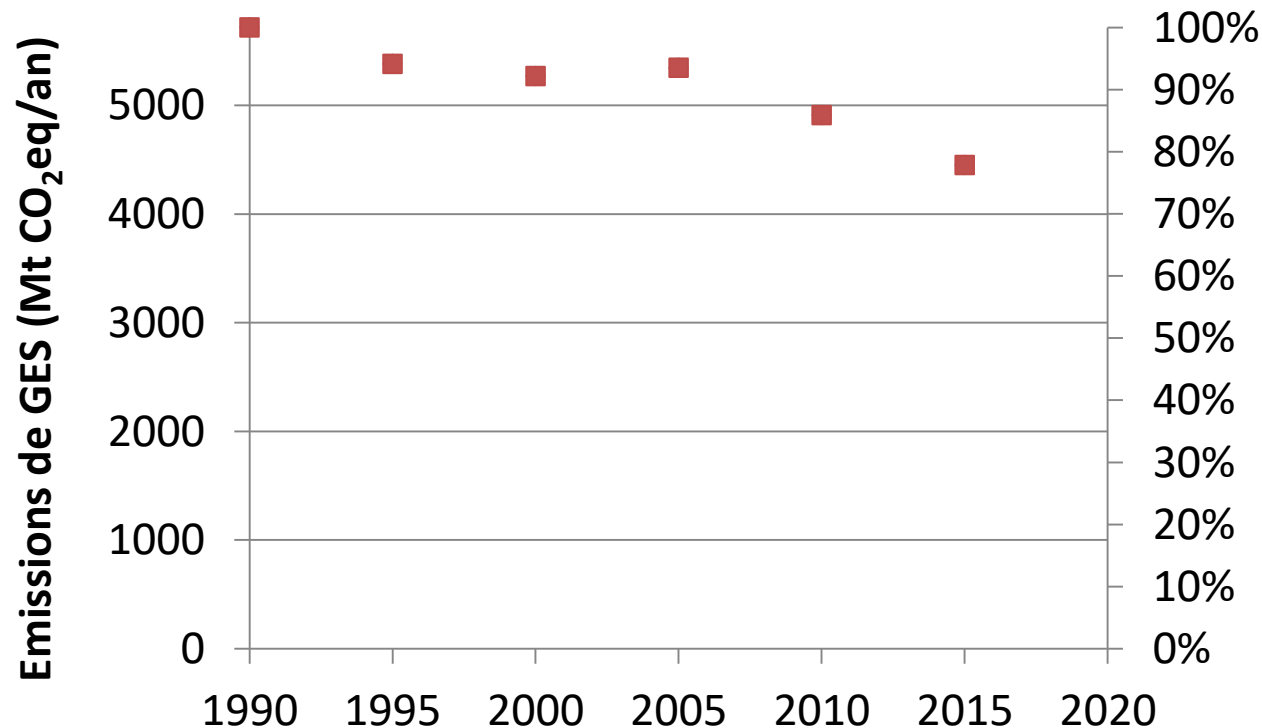
Répartition des sites CCS: Europe peu présente!



Cependant, l'objectif européen de 2020 est en bonne voie

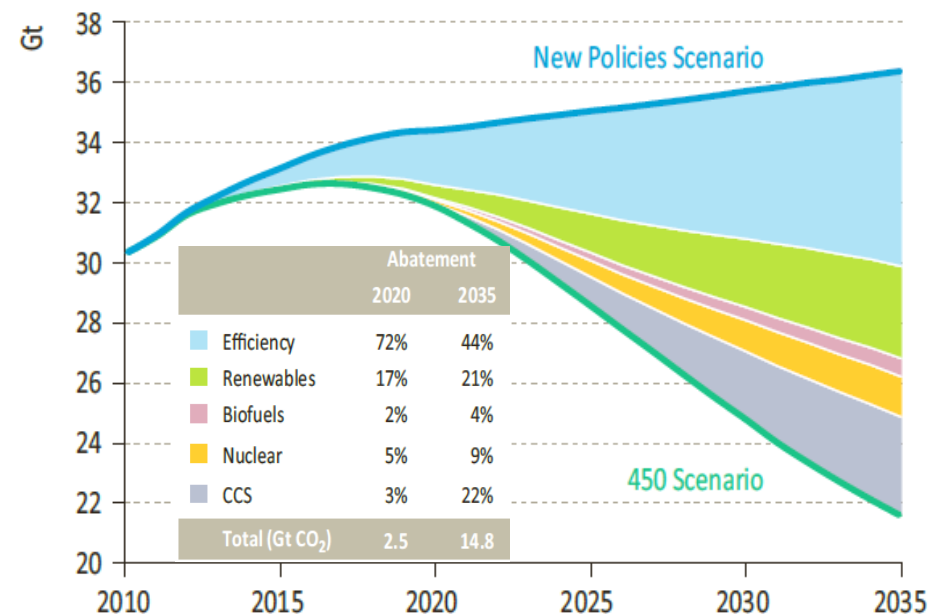
- Résultat des politiques énergétiques... ou délocalisation des émissions CO₂?

Emissions de GES - EU-28

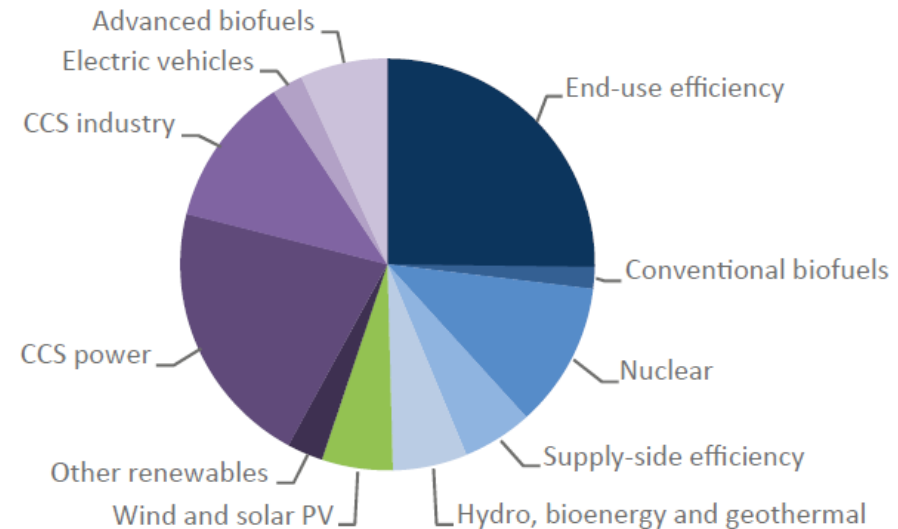


Perspectives

- Les technologies CCUS occupent une place importante dans les scénarios énergétiques!



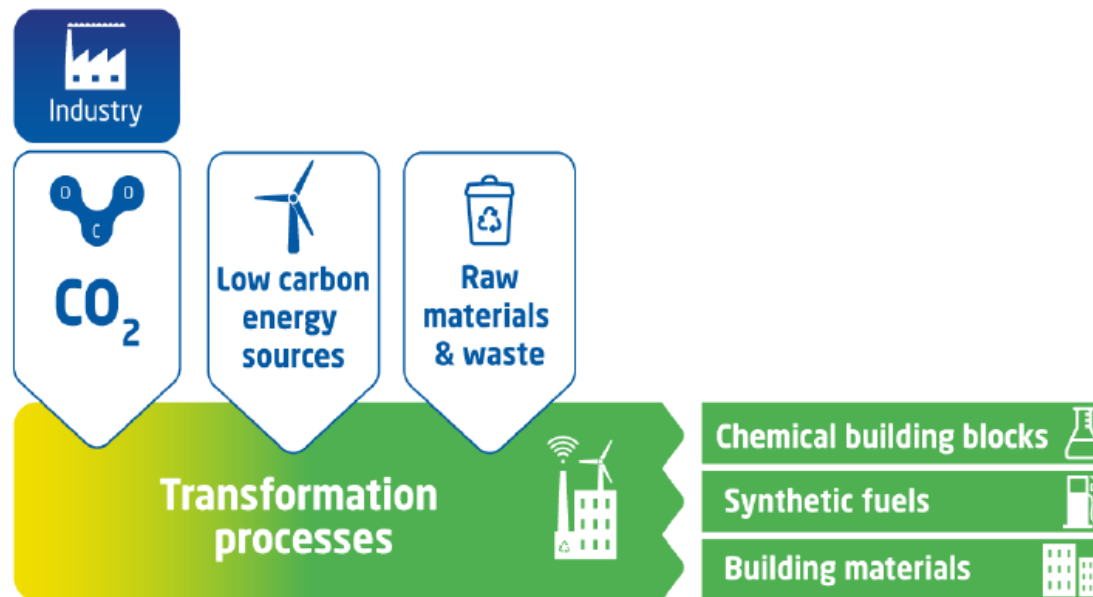
World CO₂ emissions abatement in the 450 Scenario (New Policies Scenario), IEA **2011**, WEO2011.



World CO₂ emissions abatement in the 450 Scenario (Bridge Scenario 2015-2040), IEA **2015**, WEO special report, Energy & Climate Change

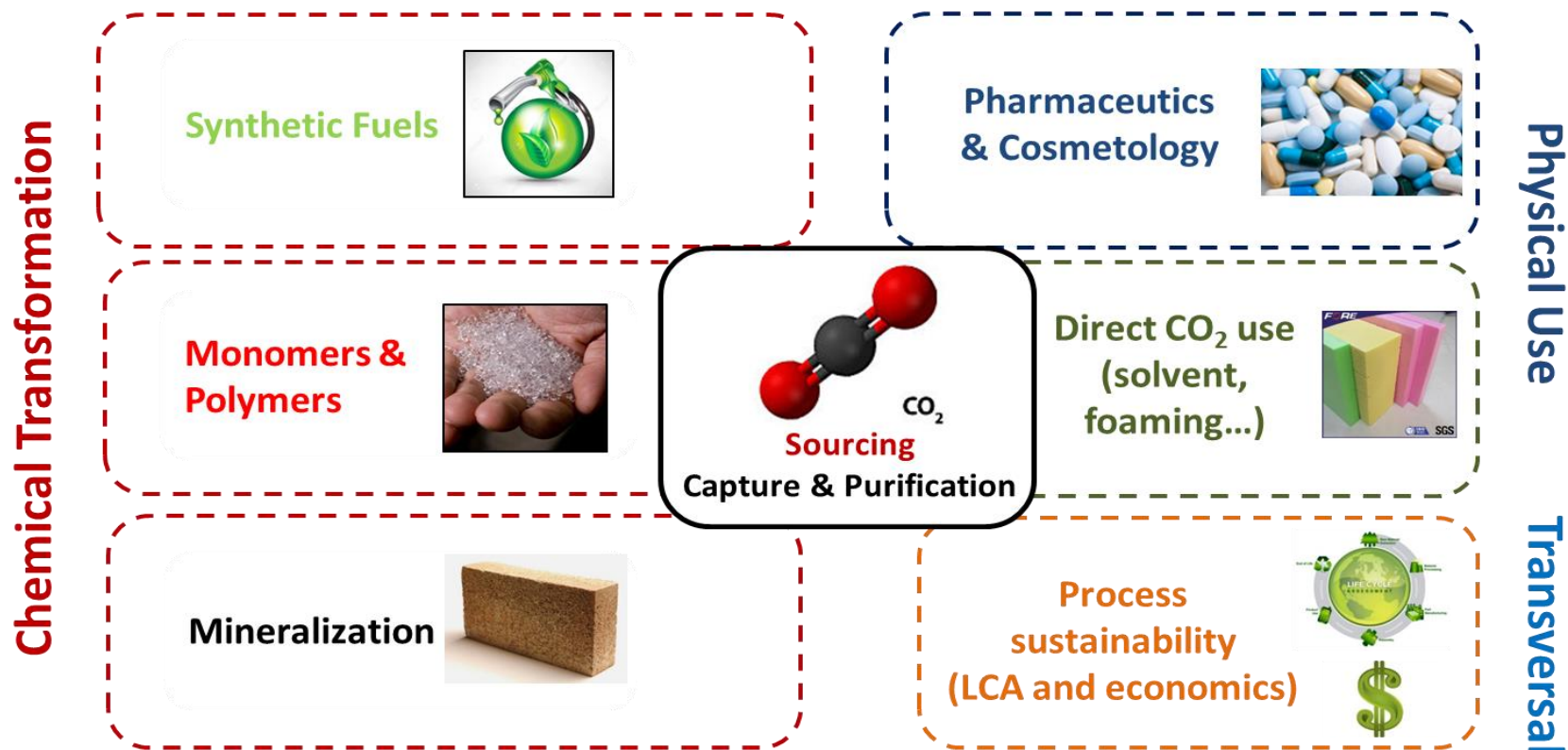
Perspectives: CO₂ Value Europe

- 30.11.2017: Creation of CO₂ Value Europe to promote:
“the development and market deployment of sustainable industrial solutions that convert CO₂ into valuable products, in order to contribute to the net reduction of global CO₂ emissions and to the diversification of the feedstock base.”



Perspective ULiège: plateforme FRITCO₂T

Federation of Researchers in Innovative Technologies for CO₂ Transformation



Pour aller un peu plus loin...

- Effet de serre et vulgarisation des défis environnementaux:
<https://jancovici.com>
- IPCC, 2015. Rapport du GIEC sur l'énergie et le changement climatique:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WE02015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>
- Global CCS Institute, 2017. The Global Status of CCS: 2017. Rapport disponible sur : www.globalccsinstitute.com
- Revue des technologies d'utilisation du CO₂: Koytsumpa E., Bergins C. et Kakaras E., 2018. Journal of supercritical fluids 132, 3-16.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.029>
- Publications ULiège: <https://orbi.uliege.be>

Merci pour votre attention!

g.leonard@uliege.be

www.chemeng.uliege.be/CO2future